

# Optimisation d'un isolateur magnéto-optique intégré pour diode laser à la longueur d'onde de 1,3 $\mu\text{m}$ .

M. Vanwolleghem, W. Van Parys\*, P. Gogol, R. Baets\*, P. Beauvillain\*

Institut d'Electronique Fondamentale, UMR CNRS 8622, Université Paris-Sud, Orsay, France.

\*Department of Information Technology, Faculty of Applied Sciences, Ghent University, Ghent, Belgium.

Tel : 00 (33) 16917836, Fax : 00 (33) 169154111, mathias.vanwolleghem@ief.u-psud.fr

**Résumé :** Nous avons modélisé l'optimisation d'un isolateur magnéto-optique intégré. Ce dispositif est constitué d'un guide optique à 1,3 $\mu\text{m}$  avec structure amplificatrice à multipuits quantiques. L'effet non réciproque, à l'origine de l'isolation, est dû au dichroïsme d'une couche métallique ferromagnétique de CoFe en configuration magnéto-optique transverse. Différents facteurs de mérite ont été optimisés en considérant les effets magnéto-optiques comme perturbatifs et prenant en compte le courant d'injection qui permet la transparence de l'isolateur en mode passant ainsi que le facteur d'isolation. Nos résultats démontrent que l'alliage  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$  et de la multicouche semiconductrice associée conduit à un dispositif optimal.

## 1/ Introduction

Un nouveau concept d'isolateur magnéto-optique intégré a été proposé récemment par Ando et coll<sup>1</sup>. Il est basé sur une structure laser standard à base de InP (SOA). L'effet non réciproque est obtenu par le dichroïsme magnéto-optique d'une couche ferromagnétique placée à proximité de la structure guide en mode TM. Ainsi la partie évanescgente de l'onde guidée TM est soumise au dichroïsme de la couche métallique ferromagnétique et l'effet magnéto-optique transverse provoque l'effet d'isolation. En effet, l'effet Kerr magnéto-optique transverse induit une modification non réciproque de l'indice effectif du mode guidé et donc l'absorption du mode guidé TM est différente dans les deux directions de propagation. Par ailleurs, l'injection de courant dans la partie active du guide au travers de la couche ferromagnétique permet de compenser les pertes induites par la proximité du métal ferromagnétique et ainsi d'obtenir la transparence de l'isolateur en mode passant. La structure plus précise de cette structure est décrite dans la figure 1.

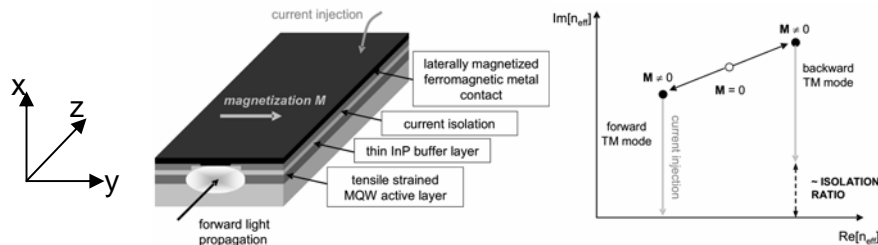


Fig.1 : Représentation schématique de l'isolateur magnéto-optique intégré.

## 2/ Structure de l'isolateur réalisé

Nous avons démontré pour la première fois cet effet d'isolation<sup>2</sup> sur une structure amplificatrice à base de multipuits quantiques en InAlGaAs contraints en tension qui permet d'obtenir un gain optique suffisant en mode TM ainsi qu'une suppression du mode  $\text{TE}^3$ . Dans ce cas le matériau magnéto-optique est un alliage  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ . Dans ce résumé, nous décrivons la méthode permettant de modéliser l'optimisation de cette structure d'isolateur et la comparaison des structures optimales pour trois compositions d'alliages CoFe :  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ,  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$  and Fe pur. La structure multicouche considérée pour l'isolateur dans le cadre de cette optimisation est épitaxiée sur substrat InP. Elle comprend d'un guide optique permettant l'amplification optique par injection de courant et qui est constitué de 9 puits quantiques 1.3 $\mu\text{m}$  AlGaInAs/InP (avec contrainte en tension de -1,16%). Cette structure multipuits quantiques est entourée de par et d'autre d'une couche de InGaAsP ( $\lambda_g = 1.0\mu\text{m}$ ) adaptée en maille permettant la constitution du guide optique. Ce guide est recouvert d'une couche tampon d'InP et d'une couche de InGaAsP/InGaAs (épaisseurs 100nm/15nm) permettant d'optimiser le contact ohmique. Enfin, la couche ferromagnétique est déposée. Elle induit les effets de non réciprocity et permet également l'injection de courant dans l'ensemble de la structure.

### 3/ Optimisation et figure de mérite

La relation phénoménologique reliant le gain optique à l'injection de courant est la suivante :

$$G_{QW} = 464 \ln \left( \frac{J}{0.525} \right) \quad \text{in 1/cm (with } J \text{ in kA/cm}^2 \text{)}.$$

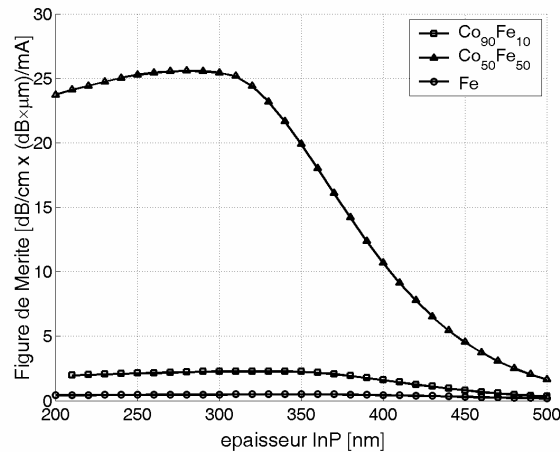
Nous avons démontré par ailleurs que le facteur d'isolation ou absorption différentielle peut être modélisé dans le cadre d'une théorie perturbative<sup>3</sup> incluant les effets magnéto-optiques en utilisant la formule intégrale suivante :

$$\Delta\alpha[\text{dB/cm}] \approx -\frac{0.3}{\lambda[\text{cm}]} \Re \left[ \frac{\iint g E_x E_z dS}{\iint E_x H_y - E_y H_x dS} \right]$$

$\lambda$  est la longueur d'onde (1,3 $\mu\text{m}$  dans la suite) et  $g$  la constante complexe magnéto-optique que nous avons déterminé expérimentalement tout comme les indices optiques à 1.3  $\mu\text{m}$  des trois matériaux ferromagnétiques considérés<sup>5</sup>.

La structure optimale de la multicouche constituant l'isolateur (épaisseurs des couches InGaAs, InGaAsP et InP) a été réalisée selon un critère d'optimisation  $\Delta\alpha^2/J_{\text{transp}}$  (ou figure de mérite) qui inclut à la fois le facteur d'isolation par unité de longueur  $\Delta\alpha$  et le courant total permettant la transparence de l'isolateur en mode passant par dB d'isolation soit  $J_{\text{transp}}/\Delta\alpha$ .

Nous avons utilisé pour cette optimisation un programme C++ /python spécifique en optique guidée qui considère les effets magnéto-optiques en mode perturbatif. Pour chaque épaisseur de la couche tampon d'InP, nous avons pu déterminer les épaisseurs optimales des couches de guidage. La figure 2 reporte la figure de mérite pour les trois l'alliage de CoFe en fonction de l'épaisseur de la couche d'InP. La comparaison entre les structures multicouches optimales est nettement en faveur du  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$  contrairement au choix effectué par Nakano<sup>6</sup> et coll. dans une structure d'isolateur utilisant le mode TE.



Ainsi optimisé, nous obtenons une isolation de 136dB/cm avec un courant de transparence de 8,5 mA/dB. Pour 20dB d'isolation totale, la structure serait de 1,47 mm de long fonctionnant à 170 mA.

Il aurait été possible de choisir une autre figure de mérite comme par exemple  $\Delta\alpha/J_{\text{transp}}$ . Une isolation de totale de 20dB aurait alors été possible en fonctionnant avec un courant de seulement 65mA, mais en augmentant significativement la longueur de l'isolateur à 4mm.

### 4/ Références

- [1] W.Zaets et coll, IEEE Photon. Technol. Lett (1999), 1012
- [2] M. Vanwolleghem, et coll., Appl. Phys. Lett. **85**, 3980 (2004).
- [3] J. Decobert, et coll., J. Crystal Growth **272**, 542 (2004).
- [4] K. Postava, et coll., J. Opt. Soc. Am. B **22**, 261 (2005).
- [5] A. Lesuffleur et coll, soumis à J.M.M.M. (2005)
- [6] H. Shimizu et coll., Proceedings IEEE Int. Conf. Semocinductor Laser, Matsue-shi, Japon (sept. 2004)